

Sebastian MAĆKOWSKI*
Leszek KASPRZYK*

KONCEPCJA UKŁADU STEROWANIA PODZIELNICĄ FREZARSKĄ Z WYKORZYSTANIEM MIKROKONTROLERA ATMEGA

W artykule przedstawiono koncepcję układu służącego do sterowania podzielnicą frezarską. Omówiono w nim rozwiązania podzielnic oraz napędów i układów sterowania stosowanych w podzielnicach. Ponadto przedstawiono ogóle zasady dotyczące projektowania podzielnic i wytyczne do ich realizacji. Dokonano także ogólnej charakterystyki układów napędowych stosowanych w tego typu podzielnicach. W końcowej części pracy przedstawiono krótkie posumowania i wnioski, dotyczące opracowanej koncepcji.

SŁOWA KLUCZOWE: sterowanie, mikrokontrolery, podzielnice frezarskie

1. WSTĘP

Mimo stosowania obrabiarek numerycznych na coraz większą skalę, obrabiarki konwencjonalne pozostaną w użyciu jeszcze przez długi czas. Te jednak wymagają większego doświadczenia i kwalifikacji od operatorów. Niektóre operacje podczas obróbki wymagają zastosowania podzielnic. Przygotowanie tego przyrządu do pracy wymaga często złożonych obliczeń podziału i dobierania kół zmianowych. Takie przygotowanie, zwłaszcza przy produkcji jednostkowej, znacząco wydłuża czas obróbki. Również użytkowanie wymaga dużej uwagi, aby nie popełnić błędów, a tym samym nie zniszczyć obrabianego materiału. Przy zastosowaniu elektrycznego napędu w połączeniu z odpowiednim sterowaniem można znacząco skrócić czas pracy operatora. Ponadto sterowanie ułatwia pracę niedoświadczonym operatorom.

2. PODZIELNICE FREZERSKIE

Podzielnice to przyrządy używane podczas frezowania, szlifowania i wiercenia. Ich głównym zadaniem jest obracanie obrabianego detalu o zadany kat, czyli podział okręgu na części. Ze względu na konstrukcję i możliwości, podzielnice dzieli się na proste (rys. 1a) i uniwersalne (rys. 1b). Podzielnica

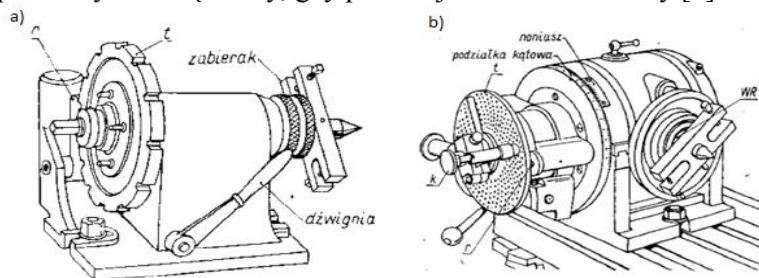
* Politechnika Poznańska.

prosta składa się z łożyskowanego wrzeciona połączonego z tarczką podziałową. Za pomocą tego przyrządu można dokonać podziału bezpośredniego. Oznacza to, że obrabiany przedmiot obraca się razem z tarczką podziałową. W podzielnicach uniwersalnych zakres podziałów jest zwiększony dzięki przekładni ślimakowej (najczęściej o przełożeniu 1:40). Podział jest wtedy zadawany za pomocą korbki i obliczany na podstawie wzoru (1).

$$n_k = \frac{40}{z} = p + \frac{l}{m} \quad (1)$$

gdzie: z – liczba podziałów, l – liczba otworów na kole podziałowym, o które należy obrócić korbę, m – łączna liczba otworów na kole podziałowym.

Liczba 40 wynika z przełożenia przekładni. Jeśli ta metoda nie umożliwi dokonania podziału należy zastosować podzielnicę o bardziej złożonej budowie i inną metodę dzielenia. Można także dokonać podziału kąтового. Wtedy należy przeliczyć przemieszczenie korby na kąt, o jaki obróci się wrzeciono podzielnicy. Ten sposób wybiera się wtedy, gdy podział jest nierównomierny [4].



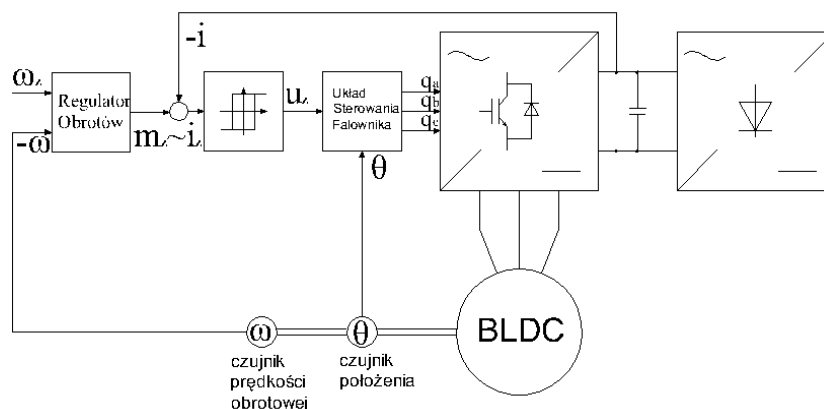
Rys. 1. Podzielnica: a) prosta b) uniwersalna [4]

3. NAPĘDY I UKŁADY STEROWANIA STOSOWANE W PODZIELNICACH

Napęd, który można zastosować w podzielnicy musi mieć możliwość dokładnego ustawienia położenia kąowego wału. Umożliwiają to serwonapędy oraz silniki krokowe. Silniki BLDC (ang. BrushLess Direct Current) stosowane w serwonapędach wywodzą się z silników synchronicznych. Ich wirnik składa się z magnesów trwałych. Dzięki odpowiedniemu namagnesowaniu rozkład indukcji magnetycznej w szczelinie powoduje, że kształt SEM indukowanej w uzwojeniach fazowych jest trapezoidalny. Silniki BLDC są zasilane z przekształtników tranzystorowych impulsami prostokątnymi. Układ zasilania sekwencyjne przełącza klucze tranzystorowe na podstawie informacji o położeniu wirnika. Do uzyskania tej informacji służą najczęściej czujniki Halla rozmieszczone w szczelinie magnetycznej. Regulacja momentu polega na zmianie amplitudy impulsów prostokątnych przy modulacji szerokości impulsów (MSI).

Stosuje się modulację unipolarną i bipolarną. W modulacji unipolarnej przewodzi naraz tylko jeden tranzystor. Zależnie od rozwiązania przewodzenie trwa przez 120° lub 60° . Zaletą drugiego rozwiązania jest równomierne obciążenie kluczy tranzystorowych. W tej metodzie uzwojenia są łączone do zacisków zasilania przez wysterowane tranzystory lub zwarte przez na stałe załączony tranzystor i diodę bocznikującą.

Przy modulacji bipolarnej załączane są dwie pary tranzystorów. Na przemian łączą dwie fazy do różnych biegunów napięcia. Kiedy prąd maleje przewodzą diody bocznikujące. Wtedy kierunek prądu odpowiada kierunkowi prądu hamowania. Wydłużenie czasu przewodzenia tranzystorów powoduje zatem zahamowanie silnika. Oznacza to, że hamowanie jest łatwiejsze przy modulacji bipolarnej niż przy unipolarnej. Jednak modulacja bipolarna powoduje większe straty w przekształtniku. Wartość amplitudy – proporcjonalnej do momentu – oblicza regulator prędkości. Schemat układu sterowania przedstawiono na rysunku 2 [2, 11].



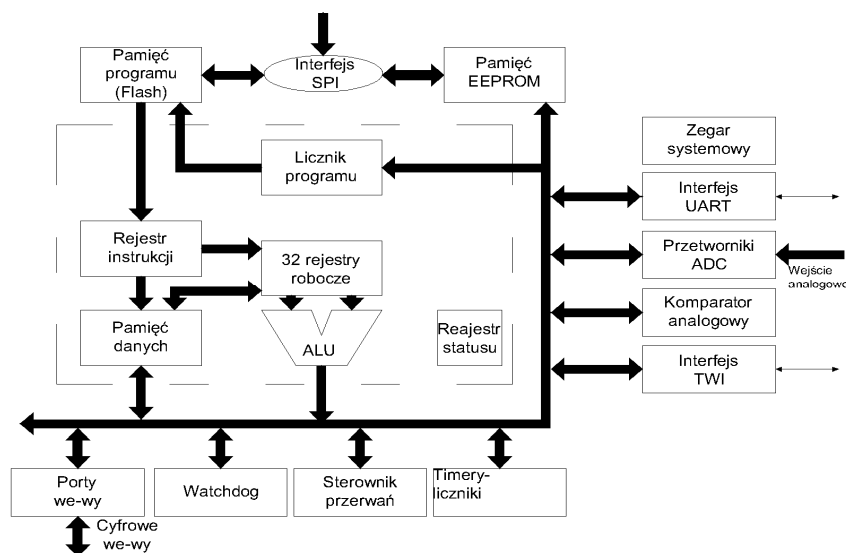
Rys. 2. Układ sterowania silnikiem BLDC [11]

Silniki krokowe są napędami o sterowaniu dyskretnym. Oznacza to, że do ich zasilania używa się ciągu impulsów. Zmiana położenia kąтового wału jest wprost proporcjonalna do liczby impulsów, a prędkość obrotowa do ich częstotliwości. Dzięki temu, że po każdym impulsie wał silnika obraca się o elementarny kąt, a jego położenie można ustalić zliczając wysyłane impulsy. W efekcie nie trzeba stosować dodatkowych czujników, a silnik może być sterowany w układzie otwartym.

Silniki krokowe dzielą się na reluktancyjne, z magnesami trwałymi i hybrydowe. W silniku reluktancyjnym wirnik wykonany jest z materiału magnetycznego. Pole magnetyczne wytwarzane jest tylko przez uzwojenie stojana. Wirnik wykonany jest tak, by zachować asymetrię magnetyczną, kiedy

znajdzie się w polu magnetycznym. Po przyłożeniu napięcia do jednej fazy wytworzy się pole magnetyczne zamykające się przez wirnik. Układ będzie dążył do zmniejszenia reluktancji i wirnik wykona obrót. Dla tego rodzaju silnika moment elektromagnetyczny i moc silnika są mniejsze niż dla silnika z magnesami trwałymi. W silniku z magnesami trwałymi pole magnetyczne wirnika ustawia się zawsze w osi pola magnetycznego wytwarzanego przez zasilane uzwojenie. Przełączenie zasilania na kolejne uzwojenie powoduje obrót wirnika. Silniki hybrydowe mają zębokowany wirnik namagnesowany osiowo. Żłobki dwóch biegunów są przesunięte względem siebie. Stojan jest jednakowo zębokowany na całej długości. Silnik hybrydowy działa podobnie jak reluktancyjny, a magnes trwały poprawia jego właściwości. Silniki krokowe można stosować unipolarnie lub bipolarnie. Ze sposobu sterowania wynika różnica w budowie. Przy sterowaniu unipolarnym uzwojenia mają odczep dzielący je na dwie części, a prąd płynie zawsze w jednym kierunku przez połowę uzwojenia. Upraszcza to sterowanie, ale zmniejsza osiągi silnika. Przy sterowaniu bipolarnym prąd płynie przez całe uzwojenie, a zmienia się jego biegunowość. Ten sposób sterowania jest trudniejszy, ale charakteryzuje się większym momentem obrotowym silnika. Silnik krokowy nie jest pozbawiony wad. Jedną z nich są drgania mechaniczne spowodowane bezwładnością wirnika i obciążenia po zasileniu silnika impulsem. Drugim problemem jest wolne narastanie prądu w uzwojeniach. Istnieje kilka sposobów na rozwiązanie tego problemu i należy je uwzględnić na etapie projektowania układu sterowania [3, 5-10].

Do sterowania silnikami BLDC i krokowymi najczęściej używa się tranzystorów. Pełnią one rolę przełączników. Podczas łączeń powstaje napięcie samoindukcji w indukcyjnościach [5-10, 11]. Z tego powodu stosuje się diody zabezpieczające, które odcinają przepięcia. Tranzystory z diodami łączy się w mostki H. Mostki muszą być odpowiednio wysterowane. Do tego celu stosuje się układy scalone z generatorem impulsów. Korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie układu sterowania złożonego z mikrokontrolera i układów logicznych. Mikrokontrolery, poza podstawowymi elementami przedstawionymi na rysunku 3, zawierają w swojej strukturze przetworniki analogowo-cyfrowe i liczniki. Zwiększa to funkcjonalność i redukuje liczbę elementów układu sterowania. Mikrokontrolery rodziny ATmega posiadają rdzeń zaprojektowany pod kątem programowania w języku C. Większość instrukcji jest wykonywana w trakcie jednego cyklu zegarowego, co przy zastosowaniu mechanizmu przetwarzania potokowego zapewnia wysoką wydajność układu. Jednak nie wszystkie układy działają z dostateczną dokładnością np. wewnętrzny zegar. Producent umożliwia za to stosowanie dodatkowych elementów np. rezonatorów kwarcowych w celu poprawy parametrów układu. Dzięki temu mikrokontrolery z rodziny AVR są proste w obsłudze i stosunkowo tanie. Jest to istotne, ponieważ w warunkach przemysłowych łatwo o awarię, a to rozwiązania daje możliwość szybkiej i taniej wymiany uszkodzonych elementów [1].



Rys. 3. Schemat blokowy układu sterowania podzielnicą [1]

4. KONCEPCJA UKŁADU STEROWANIA

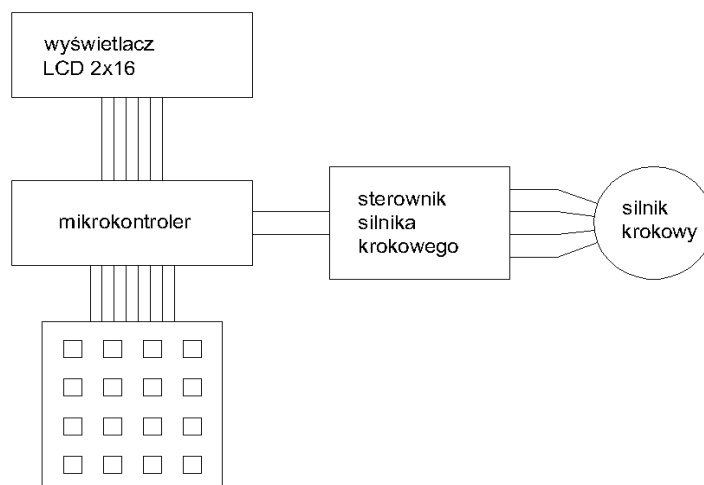
Opracowując koncepcję układu sterowania podzielnicą założono, że układ ma za zadanie precyzyjnie ustalać położenie kątowe detalu przy możliwie najprostszym i mało złożonym układzie sterowania (jest to istotne ze względów ekonomicznych). Najczęściej w podzielnicach uniwersalnych stosuje się przekładnię o przełożeniu 1:40, jednak są wyjątki od tej reguły, dlatego dodatkowym założeniem jest to, że układ sterowania powinien dawać możliwość łatwego dopasowania do dowolnego modelu podzielnicy. Można to uzyskać stosując mikrokontroler programowalny – jego wykorzystanie sprawia, że ewentualne dopasowanie może polegać na modyfikacji programu.

Aby ograniczyć liczbę elementów i uprościć sterowanie zachowując precyzję, zdecydowano o wyborze silnika krokowego typu FL57STH56-1006A. Sterowanie w układzie otwartym pozwala pominąć drogie czujniki położenia kąowego i układy regulacji nadążnej. W celu dopasowania liczby kroków, a tym samym dokładności, w opracowanym układzie zdecydowano się zastosować przekładnię z paskiem zębatym. Umożliwia ona zachowanie przełożenia i proporcji między zadanymi położeniami kątowym. Silniki krokowe mają zwykle rozdzielczość 200 lub 400 kroków, co po przeliczeniu przez przekładnię 1:40 daje 8000 kroków potrzebnych do wykonania jednego pełnego obrotu wrzeciona. Powstaje wtedy błąd przy podziale kątowym ponieważ liczba przeliczona liczba kroków nie jest

wielokrotnością 360. Przekładnię pasową można dobrać tak, aby liczba kroków dzieliła się bez reszty przez 360. Najprostszym rozwiązaniem jest podzielenie 360 stopni na minuty (21600 minut), co po podzieleniu przez 8000 daje wartość przekładni równą 10:27. Spowoduje to, że jeden krok odpowiadać będzie jednej minucie, a 60 kroków jednemu stopniowi.

Takie dopasowanie niweluje błędy i ma znaczenie zwłaszcza w podzielnicach prostych, w których dokładność głównie zależy od liczby kroków silnika. W przypadku podzielnic prostych przekładnia sprzęgająca wał silnika z wrzecionem powinna być możliwie duża. Maksymalna liczba kroków potrzebna do pełnego obrotu wrzeciona musi być uwzględniona w programie. Program sterujący na podstawie zadanej przez operatora wartości obliczy ile kroków powinien wykonać silnik. Sterowanie bipolarne pozwala lepiej wykorzystać możliwości silnika. Do zasilania w tej metodzie potrzebne są wtedy dwa mostki H, po jednym na każde uzwojenie. Aby uzyskać optymalną pracę silnika należy też wziąć pod uwagę drgania mechaniczne i wolne narastanie prądu w uzwojeniach stojana. Układem umożliwiającym sterowanie bipolarne z uwzględnieniem problemów drgań mechanicznych oraz powolnego narastania prądu, jest układ scalony A4988, który wybrano w opracowanym sterowniku (rysunek 4). Odciąża to główny mikrokontroler i rola sterowania silnikiem ogranicza się do wyboru trybu pracy, liczby kroków i kierunku obrotów. Zadawanie liczby kroków polega na wysyłaniu do sterownika ciągu impulsów. Liczba przesłanych impulsów powinna być sprawdzana za pomocą licznika. Można do tego celu wykorzystać licznik mikrokontrolera, a dla ułatwienia pracy operatora, zadana liczba podziałów i aktualny podział powinien być widoczny na wyświetlaczu. W tym celu zdecydowano zastosować wyświetlacz LCD 2x16, zgodny z dobranym mikrokontrolerem.

Kolejnym elementem niezbędnym do prawidłowego działania układu jest klawiatura. Popularnym rozwiązaniem jest klawiatura matrycowa, która za pomocą ośmiu linii pozwala obsłużyć szesnaście przycisków. W opracowanym układzie, dziesięć z nich służy do wyboru cyfr, a pozostałym sześciu przypisano funkcje: obrót w prawo, obrót w lewo, zatwierdzenie liczby podziałów, ustawienie punktu bazowego i zmiana trybu pracy. Zmiana trybu jest potrzebna ze względu na różne sposoby pracy, to znaczy podziału na równe części i obrót o wybrany kąt. Pierwszym trybem pracy układu jest tryb podziału na równe części. Operator wybiera z klawiatury liczbę podziałów, a po zatwierdzeniu układ przelicza, ile kroków jest potrzebnych do obrotu o zadany kąt (przypadający na zadaną liczbę podziałów). Mikrokontroler musi wyznaczyć liczbę kroków, jakie silnik musi wykonać do pełnego obrotu. Po każdym kolejnym naciśnięciu przycisku kierunku, silnik wykonuje następną część obrotu. Wyświetlacz wskazuje liczbę podziałów i numer aktualnego położenia wrzeciona podzielnicy.



Rys. 4. Schemat blokowy układu sterowania podzielnicą

Drugim trybem pracy jest tryb podziału kąтового, w którym operator wprowadza z klawiatury zadany kąt. Po zatwierdzeniu układ przelicza, ile kroków jest potrzebnych do obrotu o wskazany kąt, a po wykonaniu obrotu operator może wprowadzić kolejną wartość. Wyświetlacz wskazuje wartość kąta, o jaki ma być wykonany obrót i położenie względem punktu, od którego przyrząd zaczął pracę w tym trybie.

Trzecim przydatnym dla operatora trybem jest praca ciągła silnika. Tryb ten jest potrzebny przy centrowaniu detalu w uchwycie podzielnicy. Polega to na sprawdzeniu osiowości obrabianego przedmiotu. Pomiaru dokonuje się nieruchomym czujnikiem na całym obwodzie, dlatego wrzeciono musi wykonać pełny obrót. Operacja ta powinna być wykonana możliwie szybko dlatego ważne jest by silnik nie spowalniał procesu.

5. WNIOSKI

W artykule przedstawiono koncepcję układu sterowania podzielnicą frezarską z wykorzystaniem mikrokontrolera ATmega. Motywacją do podjęcia pracy jest bardzo ograniczona liczba dostępnych na rynku podzielnic do frezarek konwencjonalnych, wyposażonych w układy sterowania elektronicznego (z przeprowadzonego rozpoznania wynika, że na rynku polskim do frezarek konwencjonalnych dostępne są tylko podzielnice sterowane ręcznie). Zaprojektowano układ sterujący i układ napędowy z wykorzystaniem silnika krokowego, a do wybranych elementów systemu dobrano optymalną przekładnię –

minimalizując błąd położenia podzielnicy, a także opracowano szczegółowy algorytm sterowania.

Zastosowanie opracowanego układu umożliwi zmniejszenie nakładu pracy wymaganego od operatora frezarki, pozwoli na obsługę operatorom o mniejszych kwalifikacjach zawodowych, a także ograniczy możliwości pomyłki podczas ich pracy. Związane jest to z tym, że korzystanie z układu jest intuicyjne i znacznie mniej skomplikowane niż obliczanie podziałów oraz dobieranie przekładni w sposób ręczny.

Ważną zaletą stosowania opracowanego układu jest również możliwość skrócenia czasu pracy operatora przy jednoczesnej poprawie dokładności oraz braku konieczności używania dodatkowych przekładni, które przy ręcznym sterowaniu są niezbędne podczas realizacji podziałów o dużej dokładności. W efekcie zwiększa to niezawodność i jednocześnie zmniejsza koszty produkcji.

Zaprojektowany układ zbudowano i przetestowano w praktyce na frezarce typu FWF 32JU2. Badania testowe wykazały poprawność działania systemu.

LITERATURA

- [1] Baranowski R.: Mikrokontrolery AVR ATmega w praktyce, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2005.
- [2] Domoracki A., Krykowski K.: Silniki BLDC – Klasyczne metody sterowania, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, 2005, Nr 72, s. 155-159.
- [3] Kosmol J.: Napędy mechatroniczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
- [4] Ochęduszek K.: Podzielnice uniwersalne i ich zastosowanie, WNT, Warszawa 1982.
- [5] Potocki L.: Silniki krokowe od podstaw, Elektronika dla wszystkich Nr 7/2002, s. 22-26.
- [6] Potocki L.: Silniki krokowe od podstaw, Elektronika dla wszystkich Nr 8/2002, s. 22-29.
- [7] Potocki L.: Silniki krokowe od podstaw, Elektronika dla wszystkich Nr 9/2002, s. 24-26.
- [8] Potocki L.: Silniki krokowe od podstaw, Elektronika dla wszystkich Nr 10/2002, s. 21-22.
- [9] Potocki L.: Silniki krokowe od podstaw, Elektronika dla wszystkich Nr 11/2002, s. 24-26.
- [10] Potocki L.: Silniki krokowe od podstaw, Elektronika dla wszystkich Nr 12/2002, s. 22-24.
- [11] Zawirski K., Deskrur J., Kaczmarek T.: Automatyka napędu elektrycznego, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.

THE CONCEPT OF MILLING MACHINE DIVIDING HEAD CONTROL SYSTEM USING A MICROCONTROLLER ATMEGA

The paper presents a concept for controlling a milling machine dividing head. It discusses the solutions dividing heads, drives and control systems used in dividing heads. In addition, all rules are presented for the design of dividing heads and guidelines for their designing. There has also been the general characteristics of the drive systems used in this type dividing head. In the final part of the paper provides a summaries and conclusions concerning the developed concept.